

Propuesta de incorporación de la competencia específica *Aplicar el método científico* en los laboratorios de dos asignaturas de la titulación de Ingeniería Química de la ETSEIB

Ana Cadenato⁽¹⁾, Maria Martinez⁽²⁾

*Dpto. de Máquinas y Motores Térmicos⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería Química⁽²⁾.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB)
Universidad Politécnica de Cataluña, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona, España*

cadenato@mmt.upc.edu⁽¹⁾ rosario.martinez@upc.edu⁽²⁾

Resumen: En este trabajo se describe una propuesta para la incorporación y evaluación de la competencia específica «Aplicar el método científico para la resolución de problemas en los laboratorios de Ciencias y Tecnología» en dos asignaturas experimentales troncales de la titulación de Ingeniería Química.

La integración de esta competencia ha supuesto un cambio en el diseño de actividades que ya se venían desarrollando, para incluir el máximo número de componentes de la misma. Con ello se consigue potenciar el aprendizaje más significativo a través de la mayor implicación del alumnado. Para la evaluación de la competencia se describen algunas de las evidencias así como las herramientas de evaluación utilizadas en las dos asignaturas.

Por último, se analizan las ventajas e inconvenientes que ha supuesto esta incorporación, tanto desde el punto de vista del profesorado implicado en la experiencia como del alumnado.

Palabras Clave: Laboratorios de ciencias y tecnología; evaluación; competencia específica, ingeniería química.

Abstract: This paper describes a proposal for an incorporation and evaluation of the specific competence in two main compulsory experimental subjects "To apply the scientific method to resolve the problems in Science and Technology Laboratories".

The integration of this competence has been a change in the modeling of the activities that were already being carried out, in order to include the maximum number of components in it. Thus, a more significant learning is achieved through a better involvement of the students. To evaluate the competence, some of the facts and evaluation tools used in the two subjects are described.

Finally, an analysis of the advantages and inconveniences of this incorporation from the point of view of both, the professors involved in the experience and the students.

Key words: Science and Technology Laboratory, Evaluation, Specific competence, Chemical Engineering.

1. Introducción

Actualmente, y cada vez con más intensidad, toma bastante fuerza una nueva perspectiva surgida en los últimos tiempos desde el propio ámbito de los laboratorios, la cual apuesta por una nueva visión que implica, necesariamente, un cambio en la concepción del proceso de enseñanza-aprendizaje y como este se desarrolla, así como en el rol que asumen los dos principales actores del proceso educativo: el profesorado y el alumnado [1,2].

Esta nueva perspectiva o corriente pedagógica, supone una serie de cambios respecto a la forma de cómo se ha desarrollado hasta ahora el proceso educativo en los laboratorios. La aportación de Graells [3] citando a Johnson, Johnson, & Holubec puede resultar muy clarificadora respecto a las implicaciones de esta nueva manera de plantear el proceso de enseñanza-aprendizaje en los laboratorios de ciencias y tecnología.

Así, según Graells, el laboratorio se plantea como una oportunidad que el profesorado, debe aprovechar para convertirlo en un auténtico entorno de aprendizaje, en el que sea posible una formación integral. Con este fin se ha desarrollado un estudio en el ámbito de las competencias de los laboratorios de ciencias y tecnología en el que se ha llegado a la abstracción y generalización de la identificación y definición de una única y propia competencia específica de este ámbito, que incluye las diferentes competencias que de modo particular se deben trabajar en los distintas disciplinas de estos laboratorios [4].

Acudir a un laboratorio docente únicamente para adquirir habilidades (manuales, mecánicas) en el uso de diferentes equipos y para validar conceptos teóricos, produce un aprendizaje poco significativo que no prepara para resolver problemas nuevos. Por lo que deber replantearse el laboratorio como el lugar para escenificar la obtención de información y generación de conocimiento necesarios para poder tomar decisiones y resolver problemas. La competencia específica “Aplicar el método científico para la resolución de problemas en los laboratorios del ámbito de ciencias y tecnología” es una combinación de conocimientos, habilidades y actitudes que permiten al alumnado dar una respuesta satisfactoria a una determinada situación.

2. Objetivos

El objetivo fundamental de esta comunicación es mostrar como, a partir de la planificación adecuada de una actividad del ámbito de los laboratorios de ciencias y tecnología [5], es posible la integración y la evaluación de la competencia específica “Aplicar el método científico para la resolución de problemas” en dos asignaturas experimentales. Asimismo valorar la adecuación de hacer extensiva dicha metódica al resto de actividades de ambas asignaturas.

3. Descripción de la propuesta

3.1. Contexto de las asignaturas

Este trabajo se enmarca en la docencia de de dos asignaturas troncales de la titulación de Ingeniería Química, que se imparten en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) en el centro ETSEIB de Barcelona: Experimentación en Química II (EQ II) y Experimentación en Ingeniería Química I (EEQ I), del cuarto y quinto cuatrimestre respectivamente.

3.2. Planificación de la integración y evaluación de la competencia específica

Para introducir el trabajo de la competencia específica, a menudo no hace falta ir más allá de lo que ya se está haciendo en los laboratorios, sino dotar a las mismas actividades que hasta ahora se están trabajado en el laboratorio de un sentido más amplio y ajustado a esta competencia específica. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la competencia se ha de desarrollar mediante una secuencia progresiva en la capacidad de análisis, decisión e interpretación o, lo que es lo mismo hacia una mayor complejidad en los aprendizajes a realizar por el alumnado.

El primer paso es definir cuál es el nivel competencial que ha de tener adquirido el alumnado al final de la actividad y este ha de ser coherente con el nivel final exigido en la asignatura [6]. Lógicamente, hay que tener en cuenta que la asignatura se

encuentra dentro del marco general de la titulación, en la que se habrá definido el itinerario competencial que el alumnado ha de seguir para que al final de los estudios haya adquirido el nivel competencial exigido. Esto implica una coordinación tanto horizontal como vertical con el resto de asignaturas que integren y evalúen esta competencia en su docencia.

En la Figura 1 se muestra como ejemplo la secuencia de actividades distribuidas a lo largo de la asignatura de Experimentación de Química II que permitirían al alumnado introducir la competencia específica para su adquisición en un nivel competencial 2, especificando los momentos de laboratorio.

| Planificación de Actividades | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------|--|------|-------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| Componentes Competenciales | | Actividades | | | | | | | | | |
| | | Act.1 | Nom. | Act.2 | Nom. | Act. 3 | Nom. | Act. 4 | Nom. | Act. 5 | Nom. |
| Nivel 2 | Medir/Adquirir | | | | | | | | | | |
| | Experimentar | | | | | | | | | | |
| | Modelizar | | | | | | | | | | |
| | Proyectar/Predecir | | | | | | | | | | |
| | Decidir | | | | | | | | | | |
| | | (-) Nivel de dificultad de las actividades (+) | | | | | | | | | |

Act. pre-laboratorio
 Act. durante el laboratorio
 Act. post-laboratorio

Figura 1. Secuencia de actividades para la adquisición del nivel 2 de la competencia específica

En la figura también se pueden ver los cinco componentes que constituyen la competencia específica y que se definen junto los cuatro diferentes niveles competenciales en la guía completa [4].

3.2.1 Objetivos, Resultados de aprendizaje y Metodología

Para la planificación de la integración y evaluación de la competencia se ha partido de la ficha para el diseño de actividades para desarrollar la competencia específica “Aplicar el método científico para la resolución de problemas” elaborada en la guía de evaluación de competencias en el ámbito de los laboratorios de ciencias y tecnología.

En la Figura 2 se puede observar la parte de la ficha de diseño correspondiente a los objetivos, resultados y metodología además de los datos generales de la actividad,

donde se especifica tanto a la asignatura a la que corresponde EEQ I, el nivel competencial así como la dedicación en horas del alumnado.

| DATOS GENERALES DE LA ACTIVIDAD | |
|---|---|
| MATERIA/ASIGNATURA: Experimentación en Ingeniería Química I | |
| NIVEL COMPETENCIAL: 3 | COMPONENTES DE LA COMPETENCIA: Todos |
| NÚM. DE ACTIVIDAD: 1 | NOMBRE DE LA ACTIVIDAD: Medida y modelizado del equilibrio líquido-vapor de un sistema binario |
| TIEMPO DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTE A LA ACTIVIDAD | |
| Pre-laboratorio: 4 horas | Durante laboratorio: 6 horas |
| Post laboratorio: 20 horas | |
| DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD | |
| OBJETIVOS Y RESULTADOS DEL APRENDIZAJE | |
| <p>Al finalizar la actividad el estudiante ha de ser capaz de:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Medir los valores de la composición de las fases líquida y vapor, así como la temperatura de ebullición. 2. Construir el diagrama de equilibrio líquido-vapor a presión constante. 3. Comparar los resultados experimentales con los proporcionados por un modelo teórico como el de Van Laar, calculando previamente los coeficientes de actividad de cada componente 4. Utilizar el refractómetro de Abbe como instrumento analítico para determinar la composición de mezclas líquidas de dos componentes. 5. Utilizar la ecuación obtenida para deducir resultados en nuevas condiciones de operación. 6. Evaluar las decisiones mediante datos. | |
| METODOLOGÍA DE LA ACTIVIDAD | |
| <p>En primer lugar es importante que el alumno tome conciencia que el experimento a realizar tiene su correspondencia con el mundo real de la industria, lo que servirá para estimular su interés. En este sentido el profesor que tutoriza este experimento solicitará que relacionen los resultados obtenidos en el experimento con alguno de los problemas expuestos en la sesión.</p> <p>La actividad se ha programado en tres fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actividades pre-laboratorio: consisten en cuestiones relativas al experimento, con el uso de búsqueda bibliográfica con tal que el estudiante sea consciente de los conceptos asociados al experimento. Entrega de informe. • Actividades laboratorio: realización del experimento en las condiciones establecidas por parejas, toma de datos experimentales y comprobación de algunas hipótesis. • Actividades post-laboratorio: interpretación de datos obtenidos en el laboratorio, comprobación de hipótesis, extracción de conclusiones y toma de decisiones. | |

Figura 2. Ficha para el diseño de una actividad para desarrollar la competencia específica

3.2.2 Evaluación: estrategias, instrumentos y criterios

El docente deberá diseñar y planificar a lo largo del proceso formativo, toda una serie de: *actividades* de evaluación que permitan desarrollar y observar las competencias, *evidencias* de los resultados de aprendizaje durante el proceso de formación de cada alumno o alumnado [7], *instrumentos de evaluación* para recoger información sobre el

grado de competencia logrado, *sistemas de retroalimentación* de calidad que permitan al alumnado conocer en qué momento del proceso formativo se encuentra [8].

Los *instrumentos de evaluación* son las herramientas y apoyos que el/la docente utiliza para la recogida de información obtenida a partir de las evidencias y que es relevante para el análisis del grado de consecución de las competencias por parte del alumnado.

A modo de ejemplo se presentan en la Figura 3 las estrategias, instrumentos, criterios de evaluación de la asignatura EEQ I.

| Evaluación: Estrategias, instrumentos, criterios | | | | | |
|--|--|---------------------------------------|--|--|--|
| Momento | Elementos/ Partes de la actividad | Evidencias | Agente evaluador | Instrumentos de evaluación | Criterios de evaluación (nivel 3) |
| Pre | Trabajo previo planificación y comprensión del experimento | Cuestionario | • Evaluación del profesorado o campus virtual | Cuestionario de evaluación de las respuestas del alumnado | Adquisición y documentación adecuada de los datos |
| | | Cuestiones orales | • Evaluación del profesorado | Cuestionario de evaluación de las cuestiones orales respuestas por el alumnado | Correcto diseño del experimento |
| | | Informe de pre-laboratorio | • Evaluación del profesorado | Rúbrica d'avaluació del informe | Selección adecuada de instrumentos |
| Durante | Ejecución del experimento | Libreta de laboratorio | • Evaluación del profesorado | Corrección de la libreta | Modelo ajustado con los datos experimentales |
| | | Informe de resultados y cálculos | • Evaluación del profesorado | Rúbrica de avaluación de los resultados y de los cálculos | Validación correcta del modelo escogido |
| | | Registro de la actuación del alumnado | • Evaluación del profesorado | Rúbrica de observación de la actuación | Toma de decisiones coherentes con las conclusiones sacadas |
| Post | Elaboración del proyecto | Proyecto | • Evaluación del profesorado | Rúbrica d'avaluació | |
| | Presentación del Póster | Presentación | • Evaluación del profesorado • Coevaluación | Rúbrica de evaluación y de coevaluación | |

Figura 3. Relación de evidencias de evaluación, componentes y momentos del laboratorio

Como estrategia de evaluación, antes de iniciar el trabajo en el laboratorio tiene lugar una pequeña sesión donde el profesorado comprueba mediante cuestiones orales, el grado de comprensión del experimento que ha de realizar el alumno o alumna. Se deberá mostrar también, el informe *pre-laboratorio*.

La valoración del trabajo *durante el laboratorio* se hace mediante el registro de la observación directa, tanto de la adquisición y registro de datos experimentales (que se recogen en la libreta de laboratorio), como de la ejecución del propio experimento (cuyo procedimiento y observaciones también han de estar en la libreta de laboratorio). Al final de la sesión cada pareja ha de entregar un informe con los resultados y cálculos, que el profesorado devolverá corregido con la correspondiente retroalimentación en la siguiente sesión.

Finalmente, toda esta información ha de servir para elaborar el informe *post-laboratorio*, en el que se extraerán conclusiones que han de permitir la toma de decisiones. En el caso del grupo experto, se ha de elaborar un proyecto que se ha de presentar oralmente en sesión única delante de todo el grupo.

3.3. Desarrollo del experimento de acuerdo con la competencia específica

Una vez diseñada la actividad, el siguiente paso es adaptar y relacionar el experimento, con los componentes de la competencia específica "Aplicar el método científico". Hay que tener en cuenta que el momento en el laboratorio es generalmente lo que actualmente ya se tiene perfectamente definido y desarrollado en nuestras asignaturas de laboratorio (procedimiento experimental). Lo que es importante en este nuevo concepto es definir claramente los objetivos específicos y metodología para cada momento (pre-laboratorio, durante laboratorio y post-laboratorio) con el fin de que través de las tres partes se introduzcan de forma progresiva cada uno de los componentes que correspondan de la competencia específica en el nivel correspondiente.

A continuación se detalla para la asignatura de EEQ I, el primer cambio introducido es plantear una “escenificación” para que el alumno extrapole lo que va a realizar en el laboratorio con el mundo profesional, seguido de las partes *pre* y *post-laboratorio*, que según muchos autores es una parte indispensable para el aprendizaje significativo en los laboratorios [9,10]. En concreto, esta actividad totalmente desarrollada, se puede consultar en el anexo 4 de la guía completa junto con otras de diferente nivel así como la de Experimentación en Química II en el capítulo 4 del texto principal (EQ II) [4,6].

3.3.1 Escenificación del experimento

Para contextualizar el experimento dentro del mundo profesional se ha considerado importante una previa “escenificación” en la que el alumno o alumna no pueda escaparse de tomar una decisión ya que es el agente principal responsable.

En la Figura 4 se pueden ver las escenificaciones que se ha escogido para la actividad “control de la calidad de una bebida de cola” de la asignatura de EQ II y para la actividad “Medida y modelización del equilibrio líquido-vapor de un sistema binario” de la asignatura EEQ I.

Suponed que estáis como encargados del laboratorio de control de calidad en una línea de producción de bebidas de cola y la concentración de ácido inorgánico presente debe estar en un rango concreto. Decidid, después de analizar una serie de muestras, si la línea de producción está funcionando correctamente y si firmaríais los análisis realizados.

Del proceso de fabricación se obtiene como subproducto una mezcla de A y B en diferentes proporciones. Es posible recuperar A de la mezcla?

Figura 4. Escenificación para los experimentos en EQ II y EEQ I respectivamente

3.3.2 Pre-laboratorio

La parte correspondiente al pre-laboratorio tiene como objetivo principal ayudar tanto al alumnado como al profesorado a planificar acciones para favorecer el proceso de aprendizaje. En el caso del alumnado permite identificar cuestiones o dudas sobre los contenidos o procedimientos que se desarrollarán en la actividad durante el

laboratorio. Al mismo tiempo, le permite visualizar y planificar o diseñar, si es el caso, el trabajo que va a realizar en el laboratorio y el papel que ha de asumir.

En la Figura 5 se puede observar el informe preliminar que se pide al alumnado en la asignatura de EEQ I, antes de ejecutar el experimento en el laboratorio. Se puede ver como se relacionan las cuestiones con los diferentes componentes de la competencia específica con los diferentes apartados del experimento, permitiendo al alumno/a la propia autoevaluación y al propio profesorado evaluar al alumno/a.

| Medir /Adquirir | |
|--|--|
| ¿Cuál será la precisión con la que se deben medir las diferentes magnitudes del experimento? | Será la precisión del material volumétrico y del cronómetro utilizado durante los apartados del Procedimiento experimental. |
| Cuáles son los patrones de referencia de estas medidas? | Valores tabulados de las sustancias del experimento |
| Se tiene que hacer alguna prueba de control o en blanco? | Si, se hace una curva de calibrado con el refractómetro |
| Experimentar | |
| Cuáles son las variables de control y cuáles son las variables de respuesta del sistema que se analiza? Qué variables del sistema deben estar explícitamente fijadas para simplificar el estudio? | <ul style="list-style-type: none"> • Variables de control: Temperatura y composición • La presión del laboratorio |
| Decisiones: rango de variación de las variables de control? Por qué? Número de medidas? Por qué? | Desde $x=0$ hasta $x=1$ |
| Modelizar | |
| El modelo que se ha usado es empírico o de principios básicos/fundamentales? Cuál es el rango de validez del modelo? Se puede usar el modelo para extrapolar o sólo para interpolar? | <ul style="list-style-type: none"> • Si, empírico • Desde $x=0$ hasta $x=1$ • Para interpolar |
| Se deben ensayar distintos modelos? Se tienen que validar los modelos? En qué se basa la decisión de escoger uno y no otro? | <ul style="list-style-type: none"> • Van Laar o Margules • Si • El que describa mejor los datos experimentales |

Figura 5. Algunas cuestiones del informe preliminar para la asignatura EEQ I

3.3.3 Post-laboratorio

El post-laboratorio, permite al alumnado argumentar y sacar conclusiones de la actividad, así como extrapolar hacia situaciones del mundo profesional. También

posibilita constatar el grado de aprendizaje adquirido e identificar las carencias o puntos débiles detectados y potenciar los puntos fuertes. En la Figura 6 se puede observar el informe diseñado para esta etapa, en la asignatura de EEQ I.

| Medir/Adquirir | | |
|--|---|-------------|
| Adquirir datos | En procedimiento experimental | Lab |
| Registrar y documentar resultados y condiciones experimentales | En resultados y cálculos: tabla con datos experimentales | Lab |
| Expresar correctamente datos y resultados | Temperatura (°C) | Lab |
| Usar los instrumentos de medida necesarios para la realización de las prácticas | Material e instrumentación utilizados adecuadamente (según procedimiento experimental) | Lab |
| Experimentar | | |
| Aplicar técnicas instrumentales, de forma adecuada | En procedimiento experimental | Lab |
| Planificar y ejecutar el experimento / protocolo | Planificar/diseñar y ejecutar los experimentos | Pre Lab |
| Tratar e interpretar correctamente los datos experimentales | Resultados y cálculos | Lab Post |
| Graficar e interpretar gráficos correctamente | Resultados y cálculos | Lab Post |
| Modelizar | | |
| Proponer, escoger modelos matemáticos (analíticos y numéricos) que describan adecuadamente los resultados experimentales | Curva de regresión del índice de refracción – fracción molar Van Laar o Margules Discusión de resultados | Lab Post |
| Establecer los límites del modelo, analizando y discutiendo la validez (capacidad de extrapolación y de interpolación...) | Discusión de resultados | Post |
| Validar, mediante la observación/experimentación, los modelos propuestos | Discusión de resultados, relacionados con la repetición de otros experimentos, y/o comparación con los de otros grupos. | Lab Post |
| Proyectar/Predecir | | |
| Argumentar los resultados y obtener conclusiones | Discusión de resultados | Post |
| Utilizar el modelo para hacer predicciones (calcular, simular) en casos interesantes | Discusión de resultados | Post |
| Decidir | | |
| Tomar decisiones en función de los resultados | Discusión de resultados | Post |
| Comunicar y defender las decisiones | Proyecto: presentación de la memoria escrita y en formato de presentación oral al resto de grupos | Post |

Figura 6. Algunas cuestiones del informe post-laboratorio para la asignatura EEQ I

4. Conclusiones

- Adaptar una actividad en cada una de las asignaturas para introducir los distintos componentes de la competencia específica propuesta en el ámbito de los laboratorios de ciencia y tecnología “Aplicar el método científico a la resolución de problemas”.
- Describir varias evidencias e instrumentos de evaluación en el contexto de estas asignaturas.
- Dar pautas y orientaciones a seguir para planificar, desarrollar y evaluar esta competencia específica a través de cualquier actividad en el ámbito de los laboratorios de ciencias y tecnología.

Desde el punto de vista del profesorado la experiencia ha resultado gratificante ya que el alumnado ha estado más motivado y más involucrado durante el experimento en el laboratorio y la calidad del trabajo post-laboratorio presentado ha sido mayor. Por este motivo, se prevé una progresiva ampliación de esta metodología al resto de experimentos de las asignaturas.

Señalar que es necesario, un cambio importante de mentalidad, sobre el concepto asociado a la enseñanza en los laboratorios docentes, para conseguir que el profesorado actual explicita todas las competencias que realmente el alumnado está desarrollando, a través de experimentos en los laboratorios de ciencias y tecnología.

5. Agradecimientos

- Proyecto: “Tècniques i mètodes d'avaluació a la UPC. Incidència en els processos” financiado por la convocatoria de Proyectos de Mejora de la docencia 2006-07 de la UPC, modalidad A.
- Proyecto: “Elaboración de guías de evaluación de competencias en el marco de los procesos de acreditación de titulaciones universitarias oficiales en Cataluña” Convocatoria Resolución diciembre 2007, Agencia para la Calidad del sistema Universitario de Cataluña (AQU).

6. Referencias bibliográficas

1. A. Hofstein, R. Mamlok-Naaman, Chem. Educ. Res. Pract., **Vol.**8(2) (2007) 105.
2. S.W. Bennet, K. O'Neale, Univ. Chem. Educ., **Vol.**2(2) (1998), 58.
3. M. Graells, M. Pérez-Moya, Projecte PEEEQ-UPC, Consell Social (2007).
http://cataleg.upc.edu/search~S1*cat?/aGraells/agraells/1%2C16%2C29%2CB/fra meset&FF=agraells+sobre+moises&5%2C%2C7.
4. Guia Aval. Comp. Lab. Cienc. i Tec. - AQU (2009).
http://www.aqu.cat/publicacions/guies_competencies/guia_laboratoris.html
5. A. Cadenato, M. Martinez, Mejora en la evaluación de asignaturas experimentales de la titulación de Ingeniería química. XII CUIEET Barcelona (2004).
6. Guia Aval. Comp. Lab. Cienc. i Tec. - AQU (2009), Annex 4.
http://www.aqu.cat/doc/doc_26331275_1.pdf
7. L. Villardon *Evaluación del aprendizaje para promover el desarrollo de competencias*. Edu. siglo XXI: Rev. de la Facultad de Educación N°. 24, (2006) 57.
<http://www.um.es/ojs/index.php/educatio/article/view/153>
8. A. Blanco, L. Prieto, A. Blanco, P. Morales, J. Torre, *La enseñanza universitaria entrada en el aprendizaje*, Ed. Octaedro, Barcelona (2008).
9. J.A. Llorens-Molina, J. Res. Cent. Educ. Tech., **Vol.**4(2) (2008), 15.
10. C. Mc. Donnell, C. O'Connor & M. K. Seery, *Ch. Edu. Res. And Prac.* **Vol.**8(2) (2007), 130.